

IMAGING DEVICE, DRIVING METHOD THEREOF, RADIATION IMAGER USING THE ELEMENT, AND RADIATION IMAGING SYSTEM USING THE DEVICE

Publication date: 2003-05-09

Applicant(s): CANON KK

- international: H04N5/32; H04N5/335; H04N5/32; H04N5/335; (IPC1-7): H04N5/32; H04N5/335

Application number: JP20010331124 20011029

Also published as:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable high speed high sensitivity moving image photographing and wide dynamic range low noise still image photographing by using one imaging device.

[illegible]

ALLOWED

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光エネルギーを電気信号に変換する光電変換手段と、

前記光電変換手段と電気的に接続され、前記光電変換手段から出力される前記電気信号が入力される第1及び第2の増幅手段とを含む画素を複数備え、

前記光電変換手段と前記第1若しくは前記第2の増幅手段との間に、又は前記光電変換手段と前記第1及び前記第2の増幅手段との間にそれぞれ、設けられたスイッチ手段と、

を有する画素を複数備えた撮像素子。

【請求項2】 請求項1に記載の撮像素子において、前記スイッチ手段は、前記光電変換手段と前記第1若しくは前記第2の増幅手段との間に設けられ、

第1の画像取り込みモードのときには、前記スイッチ手段をオフし、第2の画像取り込みモードのときには、前記スイッチ手段をオンさせることを特徴とする撮像素子。

【請求項3】 請求項1に記載の撮像素子において、前記スイッチ手段は、前記光電変換手段と前記第1及び前記第2の増幅手段との間にそれぞれ設けられ、

第1の画像取り込みモードのときには、前記光電変換手段と前記第1の増幅手段との間に設けられたスイッチ手段をオンさせ、第2の画像取り込みモードのときには、前記光電変換手段と前記第2の増幅手段との間に設けられたスイッチ手段をオンさせることを特徴とする撮像素子。

【請求項4】 請求項2又は請求項3に記載の撮像素子において、前記第1の画像取り込みモードは高感度モードであり、前記第2の画像取り込みモードは通常モードであることを特徴とする撮像素子。

【請求項5】 請求項2又は請求項3に記載の撮像素子において、前記第1の画像取り込みモードは動画モードであり、前記第2の画像取り込みモードは静止画モードであることを特徴とする撮像素子。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の撮像素子において、前記第1及び第2の増幅手段は絶縁ゲート型電界効果トランジスタであり、前記電気信号は前記絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート電極に入力されることを特徴とする撮像素子。

【請求項7】 請求項6記載の撮像素子において、前記絶縁ゲート型電界効果トランジスタはソースフォロワンプを形成していることを特徴とする撮像素子。

【請求項8】 請求項6又は請求項7に記載の撮像素子において、前記第1の増幅手段の絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート電極の面積は、前記第2の増幅手段の絶縁ゲート型電界効果トランジスタのゲート電極の面積より小さいことを特徴とする撮像素子。

【請求項9】 請求項8に記載の撮像素子において、前記第1及び第2の増幅手段は電荷蓄積部を有し、前記第

1の増幅手段の電荷蓄積部の容量は前記第2の増幅手段の電荷蓄積部の容量より小さいことを特徴とする撮像素子。

【請求項10】 請求項1乃至9のいずれか1項に記載の撮像素子において、前記光電変換手段と前記スイッチ手段との間に転送スイッチ手段と容量とを有することを特徴とする撮像素子。

【請求項11】 請求項1乃至10のいずれか1項に記載の撮像素子を複数枚配置して形成した撮像装置と、放射線を光に変換するシンチレータとを備えたことを特徴とする放射線撮像装置。

【請求項12】 請求項11に記載の放射線撮像装置は、前記シンチレータと前記撮像装置との間に等倍光学伝達手段を有することを特徴とする放射線撮像装置。

【請求項13】 請求項12に記載の放射線撮像装置において、前記等倍光学伝達手段はファイバーオプティックプレートを有することを特徴とする放射線撮像装置。

【請求項14】 請求項11乃至13のいずれか1項に記載の放射線撮像装置と、

前記放射線撮像装置からの信号を処理する信号処理手段と、

前記信号処理手段からの信号を記録するための記録手段と、

前記信号処理手段からの信号を表示するための表示手段と、

前記信号処理手段からの信号を伝送するための伝送処理手段と、

前記放射線を発生させるための放射線源と、を具備することを特徴とする放射線撮像システム。

【請求項15】 光エネルギーを電気信号に変換する光電変換手段と、前記光電変換手段と電気的に接続され、前記光電変換手段から出力される前記電気信号が入力される第1及び第2の増幅手段と、を有する画素を複数備えた撮像素子の駆動方法において、

第1の画像取り込みモードのときには、前記光電変換手段からの電気信号を前記第1の増幅手段を通して読み出し、

第2の画像取り込みモードのときには、前記光電変換手段からの電気信号を前記第2の増幅手段を通して読み出すことを特徴とする撮像素子の駆動方法。

【請求項16】 請求項15に記載の撮像素子の駆動方法において、前記第1の画像取り込みモードは高感度モードであり、前記第2の画像取り込みモードは通常モードであることを特徴とする撮像素子の駆動方法。

【請求項17】 請求項15に記載の撮像素子の駆動方法において、前記第1の画像取り込みモードは動画モードであり、前記第2の画像取り込みモードは静止画モードであることを特徴とする撮像素子の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は撮像素子、撮像素子の駆動方法、その撮像素子を用いた放射線撮像装置及びそれを用いた放射線撮像システムに関する。本発明は、特に、X線やガンマ線等の高エネルギー放射線を使って画像を読み取る大面積放射線（X線）撮像装置とそのシステム、それに用いることができる撮像素子、撮像素子の駆動方法に好適に用いられるものである。

【0002】

【従来の技術】医療のさまざまな分野でデジタル化が進んでいる。X線診断の分野では、入射するX線をシンチレータ（蛍光体）とI.I.（イメージインテンシファイア）により可視光に変換し、TVカメラでかかる可視光像を撮像する2次元のデジタルX線高感度透視装置が開発されている。

【0003】さらにこの透視システムとフィルム撮影システムを組み合わせると透視（動画）と撮影（静止画）のシステムを構成したものがある。

【0004】また静止画の撮像装置としては2次元X線撮像装置が開発されてきている。

【0005】2次元X線撮像装置としては、例えば歯科用に小型CCD型撮像素子が実用化されており、乳房撮影用、胸部撮影用には最大43cm²のアモルファスシリコン（a-Si）を用いた大板の静止画撮像装置が作られている。ガラス基板上のアモルファスシリコン半導体を使った撮像素子は大板のものを得やすく、このパネルを4枚タイル貼りして、大板のX線撮像装置を実現しているものがある。この種の技術の例として、米国特許第5315101号に記載のものがある。

【0006】また複数の単結晶撮像素子（シリコン撮像素子など）を用いて大板のX線撮像装置を構成する提案がある。この種の技術の例として、米国特許第4323925号や米国特許第6005911号に記載のものがある。単結晶撮像素子としてはシリコンを使ったCCD型撮像素子撮像素子やMOS型、CMOS型撮像素子などがある。

【0007】このようにデジタル化の進む医療のX線診断分野では、静止画像撮像装置の更なる高感度化、次世代の動画像撮像装置（透視等）が期待されている。

【0008】ところで、撮像素子を用いたX線撮像装置は、X線源から放射されたX線に反応して光を発生する蛍光板、および蛍光板の発光を撮像する撮像素子を備えている。このようなX線撮像装置を用いて撮影を行う場合には、本撮影の前の位置決めの際には人体に影響の少ない微量のX線を照射し、本撮影では精細度の高い画像を撮影するために、より強いX線を照射する。このため、位置決め時は画像は多少劣っても感度の高い画像が必要となり、本撮影の際にはより大きな階調表現が可能でノイズの少ない画像を得る必要がある。単純なやり方としては、出力をセンサチップ外の回路でゲインをかける方法や、センサ内で出力段にゲインをかける方法がある。しかしながら、この方法ではセンサチップ内で発生する

ノイズ自体も増幅されてしまうというデメリットがあり、また、撮影モード毎にダイナミックレンジを変えることも困難である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】（第1の課題）上述したX線診断分野において、透視（動画）を行う場合と静止画撮影を行う場合とでは、X線の照射条件が大きく異なり、これらの性能を同一の撮像装置で実現することは困難であった。

【0010】図11に医療分野における透視（動画）、撮影（静止画）時のX線量と出力の関係を示す。透視（動画）を撮像するにはX線を連続的に人間に照射することになり、X線の被曝線量を極力減らすために、静止画撮影に比べX線の照射量を数10から100分の1にする必要がある。また読取速度としては最大で60から90フレーム/秒が求められており、この読取りを行うには、静止画撮影に比べ透視（動画）用撮像装置には数10倍の高感度と数10倍の高速性が求められる。また静止画撮影では4桁近いダイナミックレンジが要求されるが、透視（動画）では2桁程度のダイナミックレンジでよい。

【0011】従来のI.I.（イメージインテンシファイア）とTVカメラのX線撮像装置は、高感度だがTVカメラのダイナミックレンジは、フィルムのダイナミックレンジに比べ小さく診断用静止画撮影に用いることは難しい。またI.I.（イメージインテンシファイア）の解像度は診断用静止画撮影には十分ではないので、一般に透視（動画）に用いられる。さらに装置、システムが大きくなりコストが高くなる。またI.I.（イメージインテンシファイア）/TVカメラにフィルムシステムを組み合わせた透視/撮影システムは同様に装置、システムが大きくなりコストが高くなる。

【0012】CCD型撮像素子は完全空乏型で高感度であるが、大面積の撮像素子としては不向きになる。CCD型撮像素子は電荷転送型であるが故に、大面積になり転送段数が増加する（高画素になる）程、転送が問題になる。即ち駆動電圧が駆動端と中心付近では異なり完全転送が困難になる。また消費電力は CVf^2 （Cは基板とウェル間の容量、Vはパルス振幅、fはパルス周波数）で表されるが、大面積である程、CとVが大きくなり、消費電力がCMOS型撮像素子に比較して10倍以上大きくなる。この結果、周辺の駆動回路が発熱源、ノイズ源となり高S/Nではなくなる。この様にCCD型撮像素子は大型撮像素子には適さない面をもっている。

【0013】単結晶撮像素子を多数用いた単純な大板撮像装置の構成では各撮像素子の合わせ部に、必ずデッドスペースができ（シフトレジスタ、マルチプレクサ、アンプ等の周辺回路や、外部との信号や電源のやり取りのための外部端子や静電気に対する保護ダイオードや保護抵抗からなる保護回路を設けるための領域が画素領域とは別に必ず必要となる）、この部分がライン欠陥（画像

の繋ぎ目)になり、画質が落ちる。そのためテーパ状FOP(ファイバーオプティックプレート)を用いて、シンチレータからの光を、デッドスペースを避けて撮像素子の画素領域に導く構成がとられているが、非常に高価なテーパ状FOPが必要となり製造コストを高める。更にテーパ状FOPではテーパ角度に応じてシンチレータからの光がFOPに入射しにくくなり、出力光量低下が起こり撮像素子の感度を相殺して装置全体の感度が悪くなる問題がある。

【0014】アモルファスシリコン型大板撮像装置の製造プロセスはCCD型撮像素子やCMOS型撮像素子に比較し大板のものを得ると言う点で有利であるが、単結晶シリコン半導体基板に比べガラス基板上の半導体の微細加工が難しく、その結果出力信号線の容量が大きくなる。この容量は最も大きなノイズの原因(kTCノイズ)となり感度の向上には限界がある。さらにアモルファスシリコンは、高速動作に対しての半導体特性が十分でなく、大板での30フレーム/秒以上の動画撮影は困難になってくる。

【0015】(第2の課題)位置決め時の撮影と本撮影とで、求められる画像の違いを解決する一つの方法として、センサ内の画素セルにおいて、ダイナミックレンジおよびゲインを切り替える手段がある。その例を図12で説明する。PDはフォトダイオードであり、あらかじめリセット電位 V_r にMOSトランジスタM1を介してリセットされている。高感度の撮影時には、蓄積期間(もしくはX線照射時間)にフォトダイオードPDに発生した電荷はPDおよび寄生容量C1に蓄積され、転送トランジスタM2によって読み出され、容量C3に溜められる。この時の電位変化をトランジスタM6で構成されるソースフォロワンプによって電流増幅し出力される。なお、トランジスタM4は画素の行選択スイッチである。この際、容量C3を小さく設計することで光電荷に対するC3の電位変化を大きくすることが可能であり、高い感度での読み出しが可能である。一方、本撮影においてはトランジスタM3をオンすることにより転送トランジスタM2から転送された光電荷を受ける容量はC2+C3となり、より大きなダイナミックレンジを得ることが可能となる。

【0016】以上の方法では、感度の切り替えおよびダイナミックレンジの切り替えは実現することができるが、画素ソースフォロワのトランジスタ(図12のM6)のサイズは高感度撮影モードに適したサイズに設計する必要がありゲート電極の大きさは小さい方が好ましい。しかしながら、この場合MOSトランジスタの $1/f$ ノイズが画質を劣化させてしまう。一般にMOSトランジスタの $1/f$ ノイズはゲート電極の面積に反比例と言われており、小さいゲートサイズの場合には $1/f$ ノイズの影響は大きくなる。

【0017】(本発明の目的)本発明の目的は、高速・高感度での透視(動画)、高精細・広ダイナミックレン

ジでの静止画撮影を可能とし、繋ぎ目のない全面画像を提供できる大面積薄型の放射線撮像装置、特にX線撮像装置を提供することである。

【0018】また本発明の他の目的は、ゲイン切り替えおよびダイナミックレンジの切り替えを行うことができる撮像素子を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の撮像素子は、光エネルギーを電気信号に変換する光電変換手段と、前記光電変換手段と電気的に接続され、前記光電変換手段から出力される前記電気信号が入力される第1及び第2の増幅手段と、前記光電変換手段と前記第1若しくは前記第2の増幅手段との間に、又は前記光電変換手段と前記第1及び前記第2の増幅手段との間にそれぞれ、設けられたスイッチ手段と、を有する画素を複数備えたものである。

【0020】また本発明の放射線撮像装置は、上記本発明の撮像素子を複数枚配置して形成した撮像装置と、放射線を光に変換するシンチレータとを備えたことを特徴とするものである。

【0021】本発明の放射線撮像システムは上記本発明の放射線撮像装置を用いたものであり、本発明の撮像素子の駆動方法は上記本発明の撮像素子を駆動する方法に関するものである。

【0022】本発明の好適な態様は、例えば、画像取り込みモードにより異なるゲートサイズのソースフォロワンプを選択することで $1/f$ ノイズに対しても対策を施すものである。すなわち、画素毎に複数のゲート面積の異なるソースフォロワンプをもち、また、そのソースフォロワンプのゲートの寄生容量を用いて、光電荷を受け取る容量値を選択的に変化させる。高感度撮影の場合(前述のX線センサの場合の位置決め撮影)、ゲートサイズの小さいソースフォロワンプを選択することにより高感度の撮影が可能となり、また、広いダイナミックレンジの撮影を行う場合(前述のX線センサの場合の本撮影)、ゲートサイズの大きなソースフォロワンプを選択することにより、 $1/f$ ノイズが小さく、広いダイナミックレンジをもつ撮影が可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0024】(第1の実施形態)図1は本発明による第1の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【0025】図1において、PDはフォトダイオード、C1はフォトダイオードPDのカソード側に接続される、寄生容量もしくは付加容量によって形成される容量、M1はフォトダイオードPD及び容量C1〜C3をリセットするリセットトランジスタである。M2は容量C1に接続される転送スイッチとなるトランジスタ、C

2はフォトダイオードPDおよび容量C1から転送される電荷を蓄積する容量、M4は選択スイッチ、M6はゲートが容量C2に接続されるソースフォロワトランジスタである。またM3は容量C1に接続される転送スイッチとなるトランジスタ、C3はフォトダイオードPDおよび容量C1から転送される電荷を蓄積する容量、M5は選択スイッチ、M7はゲートが容量C2に接続されるソースフォロワトランジスタである。このように、フォトダイオードPDおよび容量C1に蓄積された電荷は2系統の出力手段を介して出力されるようになっている。

【0026】図1の画素セルの動作を説明する。フォトダイオードPD、寄生容量もしくは付加容量によって形成される容量C1の電位はリセットトランジスタM1によってリセット電位 V_r にリセットされる。蓄積期間にフォトダイオードPDに光が入射すると、発生した光電荷はフォトダイオードPDおよび容量C1に溜められる。転送スイッチとなるトランジスタM2もしくは転送スイッチとなるトランジスタM3をONすることで容量C2もしくは容量C3の電位は発生した光電荷に応じて変化する。

【0027】ここで容量C2および容量C3はそれぞれトランジスタM6、M7のゲート電極の寄生容量が支配的である。トランジスタM4、M5は行選択スイッチであり、2次元にアレイされている画素セルのある行を選択するためのスイッチである。トランジスタM4、M5は電源Vに接続されている。出力のノードOUTは、図には示していないが定電流源に接続されており、トランジスタM4、M6と共に、ソースフォロワアンプを形成している。トランジスタM5、M7もトランジスタM4、M6と同様に定電流源とでソースフォロワアンプを形成しており、トランジスタM2とM4を選択するか、トランジスタM3とM5を選択することで、いずれかのソースフォロワアンプを選択することができる。

【0028】本実施形態ではトランジスタM6に対してトランジスタM7のゲート電極サイズを大きくすることで容量C2に対して容量C3を大きくすることが可能である。回路動作上、寄生容量はゲートドレイン間の寄生容量の影響が大きいため、具体的にはトランジスタM6、M7のゲート幅Wを変えることで容量C2、C3を調整することが可能である。また、トランジスタM6、M7のゲート幅Wとゲート長Lを同じ比率で変えた場合には、トランジスタの電流駆動能力は変化しないため、同様なソースフォロワのDC特性を得ることができ、設計が容易になる。

【0029】読み出しの容量C2、C3を場合によって選べることの利点は従来技術で説明した通りであり、撮影条件によって、ダイナミックレンジ(Dynamic Range)を選択できることにある。さらに本発明では、以下の利点がある。

【0030】一般に、MOSトランジスタによって形成

される撮像素子(CMOSセンサ)のSN劣化の原因として $1/f$ ノイズがある。 $1/f$ ノイズはMOSトランジスタの微細化によりゲート電極面積が小さくなると影響が大きくなる。 $1/f$ ノイズのパワー密度はMOSトランジスタの $W \times L$ に反比例するとされている。SNを向上させるために従来の方法でダイナミックレンジを広げ、蓄積時間を長く、あるいは光量を多くして撮影した場合、KTCノイズ、光ショットノイズは向上するものの $1/f$ ノイズに関しては、改善が見込めない。本発明によれば、ダイナミックレンジを広げて撮影するモードの際には、従来技術で得られるSN向上の効果に加えて、 $1/f$ ノイズの改善も得ることができる。

【0031】仮に、トランジスタM6のゲートサイズを $W=1\mu\text{m}$ 、 $L=1\mu\text{m}$ 、トランジスタM7のゲートサイズを $W=10\mu\text{m}$ 、 $L=10\mu\text{m}$ とすると、トランジスタM7のゲートソース容量は10倍となる。すなわち容量C3はC2の10倍となり、ダイナミックレンジは10倍となる。よって、同一光量の撮像をする場合、蓄積時間10倍までダイナミックレンジ内で動作することが可能である。一方、 $1/f$ ノイズに関しては、ゲート電極面積の影響(100分の1)により、 $1/100$ に低減することが可能である。

【0032】このため、本発明によれば、ソースフォロワアンプの $1/f$ ノイズが改善されることによりSNの良好な撮像素子を得ることができる。さらに、容量形成とソースフォロワのゲート電極を共通化しているために、集積度を向上することができ、ひいては、フォトダイオードの面積の増大による感度の向上、SN比の向上の効果を得ることもできる。

【0033】なお、上記説明および等価回路ではソースフォロワトランジスタのMOSの特性はNMOSの場合について述べているが、トランジスタをPMOSで構成した場合にも同様な効果を得ることができる。また、駆動のタイミングに関しては、上述の例にとらわれる事なく、あらかじめトランジスタM2、M4(あるいはトランジスタM3、M5)をONした状態で、フォトダイオードPD、容量C1、容量C2(あるいは容量C3)をリセットし、リセットトランジスタM1を閉じた後に蓄積を開始しても構わない。この場合にはトランジスタM2、M3、M4、M5のゲートの開閉によるフィードスルーを無くすことが可能である。

【0034】また、トランジスタM2のゲートとトランジスタM4のゲート配線を共通化し、配線を減らすことが可能である。同様にトランジスタM3とトランジスタM5のゲート配線を共通化することも可能である。

【0035】本発明をX線撮像装置に応用した場合、従来技術で述べた通り、X線撮像装置では感度、ダイナミックレンジの切り替えが行えるメリットが大きいことと、X線撮像装置では大判の撮像装置を用いる事が携帯型のカメラに比べ容易であることから、画素サイズを大

きくするデメリットは小さく、画素の構成を本発明による構成とすることが容易である。よって、本発明による撮像素子はX線撮像装置に応用した場合に特に効果的である。

【0036】（第2の実施形態）本発明による第2の実施形態を図2で説明する。図2は本発明による第2の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【0037】本実施形態ではトランジスタM2を介さず、容量C1は直接、トランジスタM6のゲートに接続されている。高感度を必要とする場合トランジスタM4を選択する。このとき容量はC1+C2となる。広いダイナミックレンジが必要な場合はM3とM5を選択する。このときの容量はC1+C2+C3となる。このときの容量比を10とする。つまりC1+C2+C3=10(C1+C2)となる。よってC3=9(C1+C2)となる。本実施形態を用いた撮像装置を第4の実施形態で説明する。そこで詳述しているが、フォトダイオードの接合容量C1は高感度を実現するために極力小さくする。本実施形態では、トランジスタM6のゲートサイズをW=1μm、L=1μm、トランジスタM7のゲートサイズをW=9μm、L=9μmとすると、トランジスタM7のゲートソース容量C3は容量C2の9倍となる。トランジスタM4を選択する場合とM3、M5を選択する場合でダイナミックレンジは10倍になる。1/fノイズ低減の効果は第1の実施形態と同様に考えると1/81程度に改善され、本発明の効果は本実施形態においても有効である。

【0038】（第3の実施形態）本発明は完全転送タイプのフォトダイオードをもつ撮像素子においても同様の効果を得ることができる。本発明による第3の実施形態を図3で説明する。図3は本発明による第3の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【0039】本実施形態ではフォトダイオードPD部を、リセット動作により完全に空乏化させてから光電荷の蓄積を開始する。リセットの方法としては、トランジスタM1とトランジスタM8を同時にON状態にすることでフォトダイオードPDの完全空乏化が可能である。蓄積後、発生した光電荷は転送スイッチM8によって容量C1に転送される。再びフォトダイオードPDが再び完全空乏化するように設計することにより、発生した光電荷の全てを容量C1に転送することが可能であり、感度の良いセンサを得ることが可能である。トランジスタM2～M7の動作については第1の実施形態と同様である。これにより、ダイナミックレンジの選択を行うことが可能であり、かつノイズの少ない画像を得ることが可能である。また、第2の実施形態と同様にトランジスタM2を省略した場合にも本実施例の効果は有効である。

【0040】（第4の実施形態）図4は実施形態2の1画素回路を有するCMOS型撮像素子をX線撮像装置に用いた場合の1個の撮像素子の部分平面図を示す。各画素は後

述するように動画モード（高感度モード）用の増幅MOS型トランジスタ（図2のM6）と、これに比べ光量が10倍以上になり、広いダイナミックレンジを要求される静止画モード（通常モード）時の面積の大きい増幅MOS型トランジスタ（図2のM7）とを有する。さらに各画素は、これらの動作モードの切替えに応じて感度を切替える手段を有する。これにより静止画撮影時には広ダイナミックレンジ、動画撮影時には高感度で撮影できる撮像素子を実現する。本実施形態では、後述するように、この撮像素子を9枚タイル貼りして大板の撮像装置を構成する。

【0041】図4において、11は撮像素子の端部、12は画素セルの境界、13は走査回路としての垂直シフトレジスタのブロック、14はマルチプレクサ、水平シフトレジスタ、共通アンプ等の共通処理回路のブロック、15は外部端子、16は外部端子15上に設けられたバンプ、17は保護抵抗、18は保護ダイオードを示す。

【0042】図7は現在主流の8インチウエハから1個の撮像素子を取り出す場合を示す。CMOSプロセスによって136mm□のCMOS型撮像素子を1枚取りで作成する。

【0043】医療用のX線撮像装置では画素（画素セル）の大きさは、100μm□～200μm□程度に大きくてよい。本実施形態でのサイズは160μm□とした。

【0044】図8はこの撮像素子を9枚張り合わせて形成した408mm□の大面积X線動画撮像装置の撮像素子部分を示す。

【0045】図9は図8のA-A'断面を示す。ユウロピウム、テルビウム等を付活性体として用いたGd₂O₃SやCsIなどからなるシンチレータ21をFOP（等倍光学伝達手段）22の上に設置する。X線はシンチレータ21に当たり可視光等の光に変換される。この可視光等の光を撮像素子23で検出する。シンチレータ21はその発光波長が撮像素子23の感度に適合するように選択するのが好ましい。本実施形態ではシンチレータ21を透過したX線が撮像素子23に当たるのを防ぐためにFOP22を用いているが、低いエネルギーのX線を用いるなどシンチレータ21で十分X線が吸収される場合はFOPを用いる必要はない。基台24は撮像素子23を搭載するものであり、基板25は撮像素子23の電源、クロック等を供給し、又、撮像素子23から信号を取り出して処理する回路を有する外部処理基板である。フレキ26は各撮像素子と外部処理基板とのTAB(Tape Automated Bonding)による電気的接続部である。

【0046】本実施形態では、従来撮像素子の外周部に配置していた垂直シフトレジスタ、水平シフトレジスタ、マルチプレクサ、出力アンプ、外部端子、静電気保護回路等（保護ダイオードと保護抵抗）を撮像素子の画素領域に配置する。この構成により撮像素子全面が画素領域となるので、この撮像素子をタイル貼りする場合、

周辺に画素欠陥になるデッドスペースを生じない。

【0047】これらの撮像素子をタイル状に実質的に隙間がないように並べることで、大板の撮像装置を形成できる。ここで、実質的に隙間ができないこととは、9枚の撮像素子により形成される画像に撮像素子間の欠落ができないということである。さらに前記回路構成とすることで繋ぎ目のない大板の画像を得ることができる。さらに1つのラインを処理するシフトレジスタの1ブロックを1ピッチ内に収まるように配置する。これらのブロックを並べて一連の垂直シフトレジスタブロックとし、水平シフトレジスタブロックとする。これらのブロックは垂直方向、水平方向に直線状に伸びている。

【0048】撮像素子のクロック等や電源の入力、撮像素子からの信号の出力は撮像素子端部に設けた外部端子に接続したTABフレキを通して、撮像素子の裏側に配置した外部処理基板との間で行う。TABフレキの厚さはサイズに対して十分薄く撮像素子の間の隙間を通して、画像上の欠陥は生じない。

【0049】図5は図4中の垂直シフトレジスタの単位ブロック（1行を選択し駆動するための単位）を1領域（1画素セル）に1画素回路と共に配置した画素セルの様子を示す。1画素回路は実施形態2に示すものである。単位ブロックと画素回路の面積は、模式図のため実施形を反映してない。また実際のレイアウトでは画素回路のフォトダイオード以外は遮光層（不図示）で覆われており、シンチレータからの光がフォトダイオード以外に入射するのを防止している。垂直シフトレジスタは転送信号ΦTX、リセット信号ΦRES、選択信号ΦSELを作り出すためにスタティック型シフトレジスタと転送ゲートで構成した簡単な回路を示す。これらはクロック信号線（不図示）からの信号により駆動する。シフトレジスタの回路構成はこの限りではなく、加算や間引き読み出し等のさまざまな駆動のさせ方により、任意の回路構成をとることができる。ただし本実施形態のように機能ブロックを一つの画素セルの中に画素回路と共に配置し、画素領域内にシフトレジスタを設け、全面画素領域の撮像素子を実現する。

【0050】走査回路として、シフトレジスタではなくn対2ⁿデコーダを使用することもできる。デコーダの入力に順次インクリメントするカウンタの出力を接続することによりシフトレジスタと同様に順次走査することが可能となり、一方デコーダの入力に画像を得たい領域のアドレスを入力することによりランダム走査による任意

$$V_p / V_n = Q_p \cdot \sqrt{1 / (kT C)}$$

となる。動画撮影時に最高感度（S/N比）を得るためには、蓄積容量Cをできるだけ小さくすることが望ましい。

【0057】またソースフォロワ（画素アンプ）出力の大きさΔVは以下のように表わせる。

$$\Delta V = G \cdot Q_p / C_{\text{nos}}$$

の領域の画像を得ることができる。

【0051】画素領域内の各領域（画素セル）内に配置する共通処理回路とは、最終信号出力アンプ、シリアル・パラレル変換マルチプレクサ、バッファは、各種ゲート回路等の複数を一括して共通に処理する回路を意味する。

【0052】図6に実施形態2に対応する1画素回路のレイアウト（模式図）を示す。画素セルの大きさは160μm□である。

【0053】図6において、31は光電変換部としてのフォトダイオード、32は動画モード（高感度モード）対応の第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）、33は撮影モード（通常モード）対応の第2の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ2）、34は動画モード（高感度モード）と撮影モード（通常モード、広ダイナミックレンジモード）の切替えMOS型トランジスタ（モード切替えスイッチ）、35は光電変換部を選択するための選択MOS型トランジスタ、36は光電変換部に蓄積された電荷を放電するためのリセットMOS型トランジスタ（リセットスイッチ）、37は出力信号線である。第1の増幅MOS型トランジスタのサイズをW=1μm、L=1μmとする。第2の増幅MOS型トランジスタのサイズをW=10μm、L=10μmとする。

【0054】画素部では、フォトダイオードで発生した信号電荷を接合容量に蓄積する。蓄積された電荷はソースフォロワーとして機能する増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ）により電荷／電圧変換され電圧として出力される。

【0055】透視（動画）、撮影（静止画）兼用のX線撮像素子での光電変換部に求められる特有の条件がある。この条件を満たすためにとった本実施形態について詳述する。

【0056】（動画モード）pn接合を有するフォトダイオードにおいて、光生成キャリアQ_pをフォトダイオード部の容量Cに蓄積し、電圧に変換する場合、光生成キャリアによる光信号電圧V_pは、

$$V_p = Q_p / C \quad \dots \dots (1)$$

となる。フォトダイオードをリセットする度に発生するリセットノイズがある。これはランダムノイズとして現われる。リセットノイズV_nは、

$$V_n = \sqrt{kT C} \quad \dots \dots (2)$$

（k：ボルツマン定数、T：温度（K））

となる。S/N比は、

$$\dots \dots (3)$$

ここで、Gはソースフォロワーの利得、C_{nos}は画素アンプの寄生容量を、Q_pはC_{nos}に蓄積された信号電荷とする。同じ信号電荷Q_pに対してΔVが大きいほど、電荷／電圧変換利得が大きくなり、S/N面等の観点から有利となる。同じ信号電荷Q_pに対しΔVを大きくするためには、ソースフォロワーの利得Gは通常0.7～0.9程度とほとん

ど変化しないので、容量 C_{MOS} を極力小さくする。

【0059】本実施形態の動画モード（高感度モード）ではモード切替スイッチ（図2のM3）をOFFすることによりフォトダイオードと第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）が直結される。このとき信号蓄積容量はフォトダイオードの接合容量 C_{PD} （図2のC1）と第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）に寄生する容量 $C1$ （図2のC2）の合成容量となる。動画モード（高感度モード）で最高感度を得るために、 C_{PD} を最小容量となるように設定する。光利用率を大きくとるためにはフォトダイオード面積が大きい方がよいが、フォトダイオード面積を大きくすると容量 C_{PD} が大きくなりやすいので電極部（不図示）を極力小さい面積とすることで、 C_{PD} が増加しないような構造とする。同様に第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）寄生する容量 $C1$ （図2のC2）も同様に最小容量となるように設定する。寄生容量は、第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）の面積に依存するので、極力小さな面積となるようにする。

【0060】（静止画モード）蓄積容量に蓄積できる電荷量は、

$$Q_F = V_F \cdot C \quad \dots \quad (1)$$

となる。蓄積できる電荷量に比例してダイナミックレンジは大きくなるので、静止画撮影時にダイナミックレンジを広くするには、蓄積容量 C を必要に応じて大きくする必要がある。本発明では、この大きい蓄積容量のみを画素内に別途設けず、静止画モード用の大きい面積の第2の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ2）を設け、このトランジスタの寄生容量を蓄積容量として利用する。

【0061】またMOS型トランジスタには $1/f$ ノイズ（フリッカ・ノイズ）や熱ノイズが発生しやすく、これはランダムノイズであり、ランダムなバックグラウンド画像を生じる。デバイス設計的にはMOS型トランジスタのチャネル長を L 、チャネル幅を W とすると、熱ノイズは $\sqrt{(L/W)}$ に比例し、 $1/f$ ノイズは $L \cdot W$ に反比例するのでMOS型トランジスタのノイズを小さくするにはチャネル長 L を最小とし、チャネル幅 W を大きく設定すればよい。特に大きなノイズ源となるアンプとしてのソースフォロワでの低周波で大きくなる $1/f$ ノイズは、静止画モードでは特に問題となる。動画モードで高感度となるように設計された第1の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ1）を静止画モードで共用し、広ダイナミックレンジ用の大きい蓄積容量を画素内に別途設ける構造では、この画素アンプの $1/f$ ノイズが大きく画質に悪影響を及ぼしてしまう。一方高速動画撮影時は $1/f$ ノイズは問題とならない。そこで静止画モード用の大きい面積の第2の増幅MOS型トランジスタ（画素アンプ2）を設け、これを静止画モードに選択するモード切替スイッチを設ける構造とする。静止画モードでは低ノイズ画素アンプを使うこと画質の向上を図り、さらにこのトランジスタの寄

生容量を静止画モードの蓄積容量として利用することで広ダイナミックレンジを確保することができる。

【0062】さらに本実施形態では、本質的に $1/f$ ノイズが小さいPMOS型トランジスタをソースフォロワとして利用している。これによりNMOS型トランジスタに比べ $1/10$ 程度の大きさに低減できる。また本発明になる撮像素子をX線撮像装置に用いる場合シンチレータを通り抜けたX線が直接トランジスタに当たる。PMOS型トランジスタはNMOS型トランジスタに比べX線耐久性が強い（リーク電流増加、閾値 V_{th} 変動が少ない）のでさらに好適である。

【0063】本実施形態の画素回路では転送スイッチは設けず、フォトダイオードと増幅トランジスタのゲートを直結し光電変換部とした。本実施形態では完全転送ではないので光電変換部のリセット時に kTC ノイズが発生するが、このノイズを除去するために、二重サンプリング回路を使用することは公知である。

【0064】医療用のX線撮像装置では、画素の大きさは、 $50 \mu m \square \sim 200 \mu m \square$ 程度に大きくてよいので、画素セル内に動作モードに応じた2個の増幅MOSトランジスタを配置しても十分大きい開口率を実現できる。

【0065】本実施形態ではシフトレジスタを画素領域内に配置するので、シンチレータを抜けたX線が直接シフトレジスタに当たる。シフトレジスタ回路はパルス信号を順次転送するために用いられている。シフトレジスタとしてスタティックシフトレジスタを用いる。原理的にはスタティック型はX線の影響を比較的受けにくく、本実施形態のようにX線が直接当たる場所に用いることができる。従ってスタティック型シフトレジスタを用いればX線ダメージやエラーの少なく、信頼性が向上した撮像装置を実現できる。

【0066】本実施形態は撮像素子としてCMOS型撮像素子を用いているので消費電力が少なく、大板の撮像装置を構成する場合に好適である。

【0067】なお撮像素子内にマルチプレクサを作りこむのは撮像素子での動作を早くするためである。

【0068】また撮像素子からは外部端子を経由して外部に信号を取り出すが、この外部端子周りには大きな浮遊容量がある。従って外部端子の前段にアンプを設けることにより信号の伝送特性を補償することができる。さらに9枚の撮像素子は、共通の駆動パルスで駆動できるので周辺の駆動パルス発生回路も容易になる。また、共通駆動により撮像素子駆動回路の共通化もでき、従って実装的にも優れていることが分かる。

【0069】（第5の実施形態）図10は本発明による放射線撮像装置のX線診断システムへの応用例を示したものである。X線チューブ6050で発生したX線6060は患者あるいは被験者6061の胸部6062を透過し、図9に示したようなシンチレータ21、FOP22、撮像素子23、外部処理基板25を備える放射線撮

像装置6040に入射する。この入射したX線には患者6061の体内部の情報が含まれている。X線の入射に対応してシンチレータは発光し、これを撮像素子が光電変換して、電氣的情報を得る。この情報はデジタルに変換されイメージプロセッサ6070により画像処理され制御室のディスプレイ6080で観察できる。

【0070】また、この情報は電話回線6090等の伝送手段により遠隔地へ転送でき、別の場所のドクタールームなどディスプレイ6081に表示もしくは光ディスク等の記録手段に保存することができ、遠隔地の医師が診断することも可能である。またフィルムプロセッサ6100によりフィルム6110に記録することもできる。

【0071】以上説明したように、本発明は医療用のX線センサに応用することが可能であるが、それ以外の用途に応用した場合にも有効である。

【0072】

【発明の効果】本発明によれば、以下の効果を得ることができる。

(1) 各画素内に画像取り込みモードに応じたサイズの異なる増幅MOSトランジスタ等の増幅手段とモード切替手段(スイッチ手段)を設けることで、高速・高感度動画撮影/広ダイナミックレンジ・低ノイズ静止画撮影が1つの撮像素子で可能となる。

(2) 上記効果を有する複数の撮像素子を配置することで繋ぎ目のない全面画像を提供でき、高速・高感度動画撮影/広ダイナミックレンジ・低ノイズ静止画撮影を兼用できる大板薄型X線撮像装置を提供することができる。

【0073】(3) また本発明による撮像素子では、MOSトランジスタ等の増幅手段を各画素に2種類もち、いずれかを選択することでゲイン切り替えおよびダイナミックレンジの切り替えを行うことができる。また、それらを異なるゲートサイズのソースフォロワとすることで、1/fノイズを抑制することができ、撮影モードの切り替えによって高感度の画像の撮影をする場合と、広いダイナミックレンジをもち、低ノイズの画像の撮影をする場合を選択できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【図2】本発明の第2の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【図3】本発明の第3の実施形態の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

【図4】本発明の第4の実施形態の撮像素子の部分平面

図である。

【図5】図4中の画素回路と垂直シフトレジスタの単位ブロックの関係を示す図である。

【図6】図4中の画素セルにおける光電変換部と画素アンプの関係を示した概念的平面図である。

【図7】本発明の実施形態による撮像素子とその元となるウエハを示す平面図である。

【図8】本発明の実施形態による撮像素子の3×3配列及び走査回路の配列を示す平面図である。

【図9】本発明の実施形態による撮像装置の構成を示す断面図であり、図8のA-A'断面を示す。

【図10】本発明の実施形態5による放射線撮影システムの構成を示す概念図である。

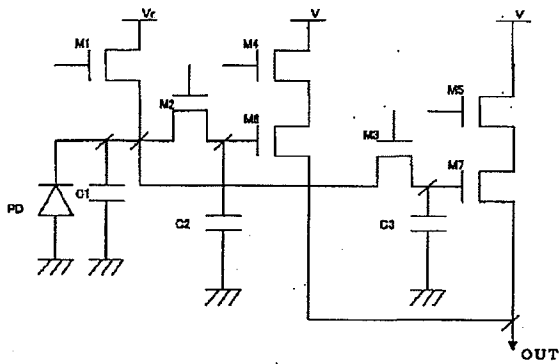
【図11】医療分野における透視(動画)、撮影(静止画)時のX線量と出力の関係を示す特性図である。

【図12】従来の撮像素子の画素セルの等価回路図である。

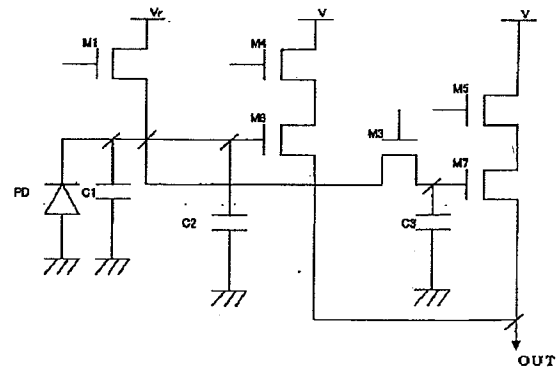
【符号の説明】

- PD フォトダイオード
- C1、C2、C3 容量
- M1～M7 トランジスタ
- 11 撮像素子の端部
- 12 画素セルの境界
- 13 垂直シフトレジスタのブロック
- 14 水平シフトレジスタを含む共通処理回路のブロック
- 15 外部端子
- 16 バンプ
- 17 保護抵抗
- 18 保護ダイオード
- 21 シンチレータ
- 22 FOP
- 23 撮像素子
- 24 基台
- 25 基板(外部処理基板)
- 26 フレキシブル基板(TAB電氣的接続部)
- 31 フォトダイオード
- 32 第1の増幅MOS型トランジスタ(画素アンプ1)
- 33 第2の増幅MOS型トランジスタ(画素アンプ2)
- 34 切替えMOS型トランジスタ(モード切替えスイッチ)
- 35 選択MOS型トランジスタ
- 36 リセットMOS型トランジスタ(リセットスイッチ)
- 37 出力信号線

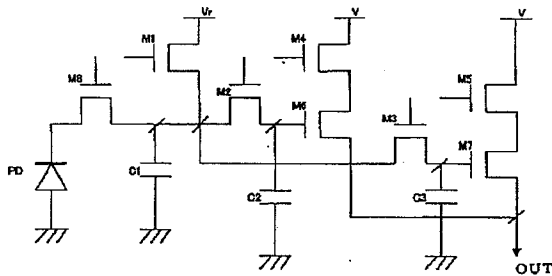
【図1】



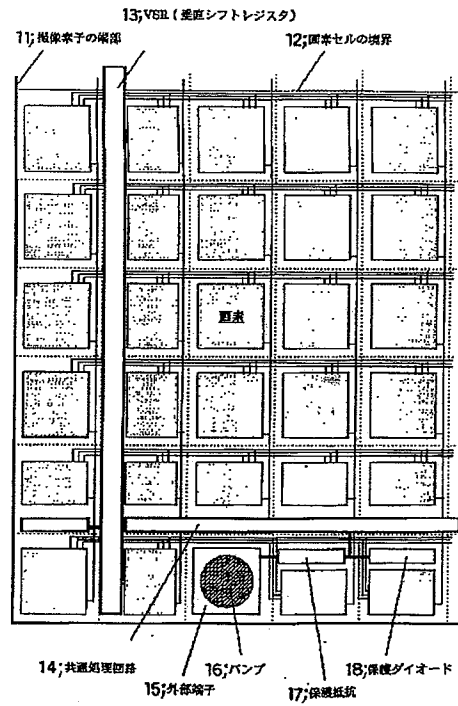
【図2】



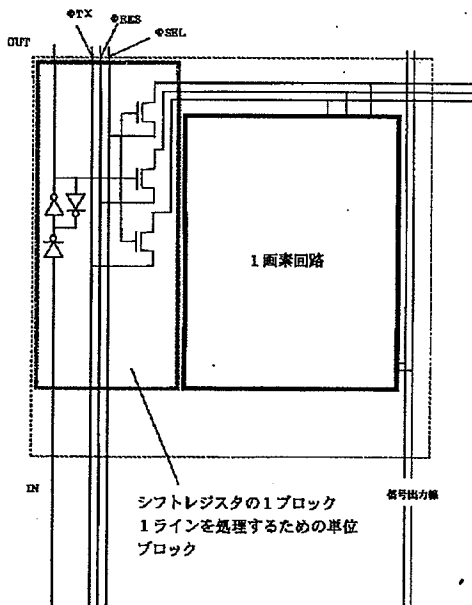
【図3】



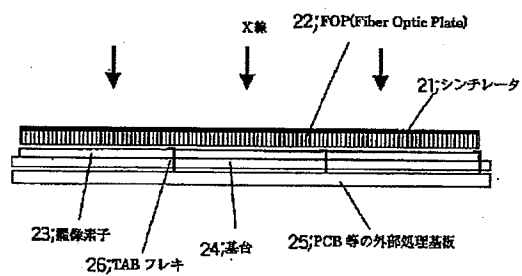
【図4】



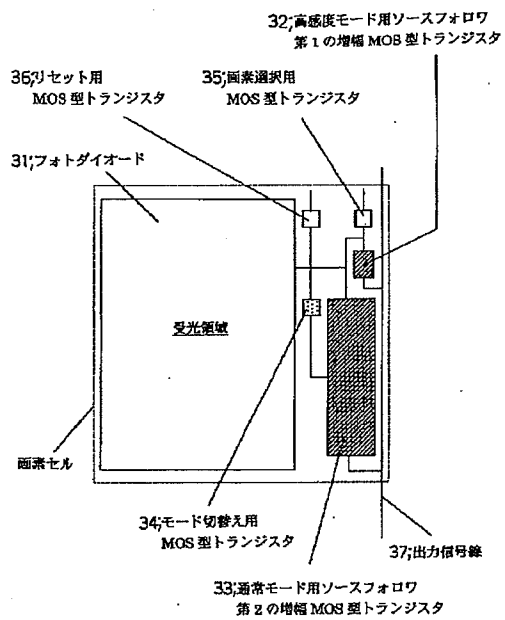
【図5】



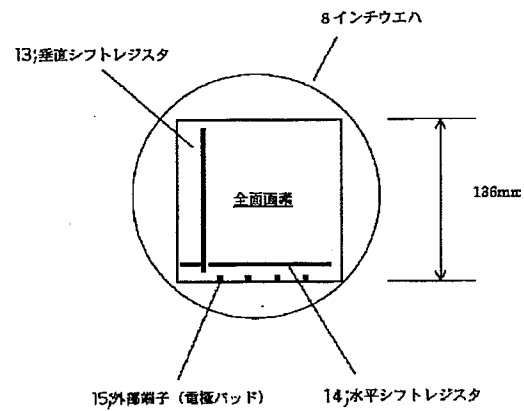
【図9】



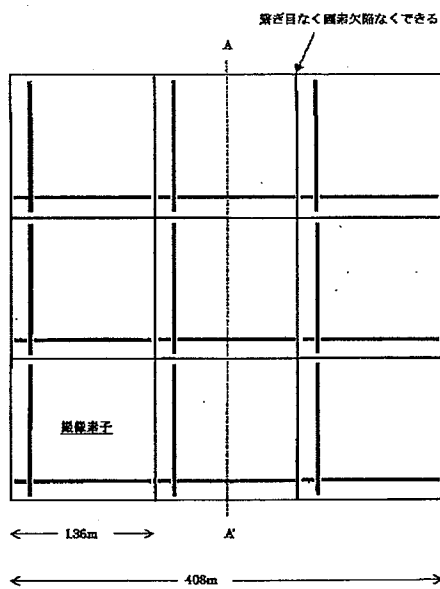
【図6】



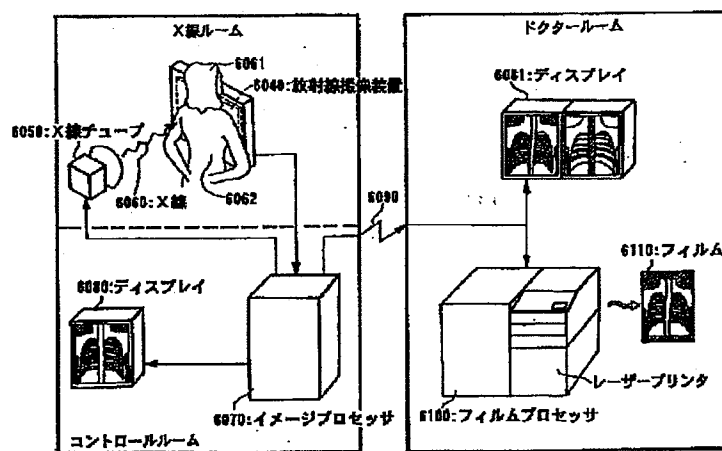
【図7】



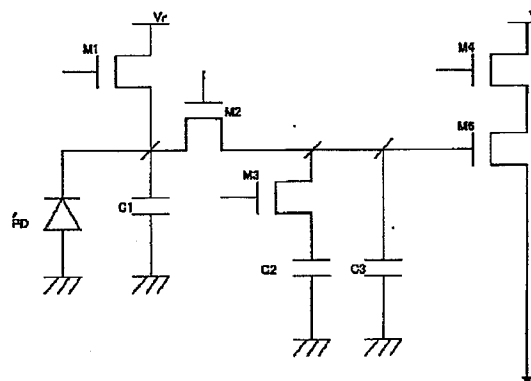
【図8】



【図10】

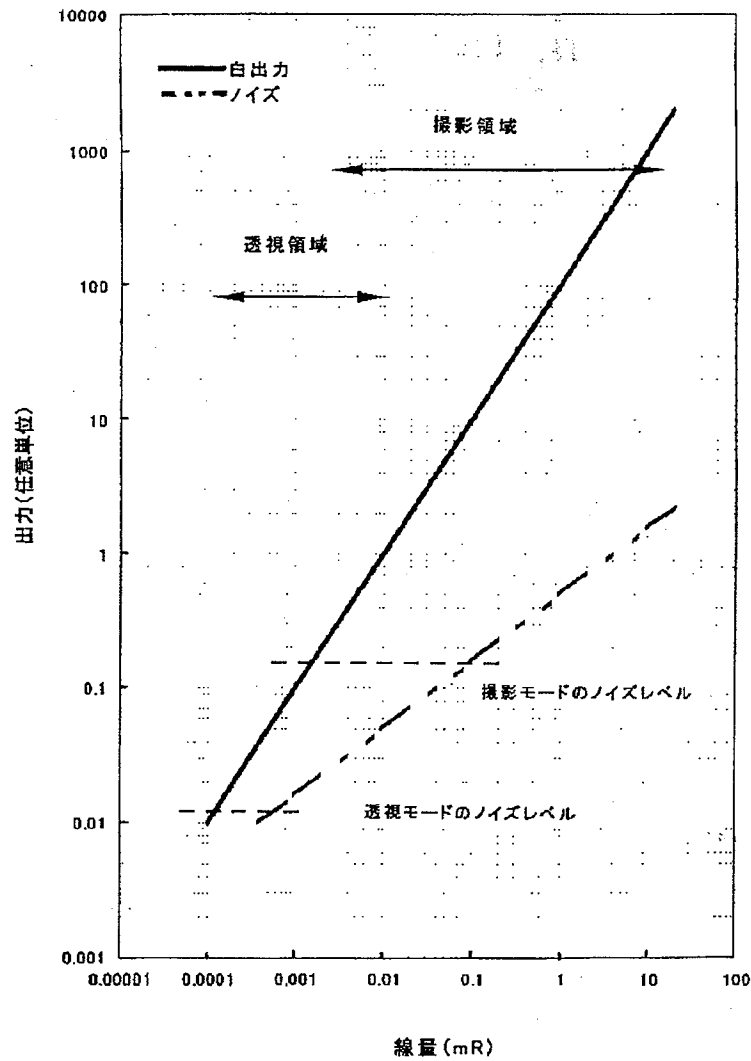


【図12】



【図11】

透視(動画)/撮影(静止画)の線量範囲



フロントページの続き

(72)発明者 海部 紀之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
 ノン株式会社内

Fターム(参考) 5C024 AX11 CX03 CX41 CX43 CY11
 GX03 GX09 GY31